

Prozessorientierte Analyse der Erstellung von Diagrammen mit Fehlerbalken**Lena Nikodemus, John Hamacher, Heidrun Heinke**

RWTH Aachen University

lena.nikodemus@rwth-aachen.de, hamacher@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Experimentell ermittelte Messwerte besitzen Messunsicherheiten, welche für naturwissenschaftliches Arbeiten besonders wichtig sind [1]. Allerdings stellt für viele Studierende sowohl das Bestimmen von Messunsicherheiten als auch der Umgang mit ihnen ein großes Problem dar. Diese Defizite werden besonders in Physikpraktika an Universitäten erkennbar, in denen die meisten Studierenden erstmals selbstständig mit Messunsicherheiten arbeiten [2]. Um effektive Lernumgebungen zur Unterstützung der Studierenden entwickeln zu können, sind Kenntnisse über die Schwierigkeiten der Studierenden bei der Berücksichtigung von Messunsicherheiten notwendig. Zur Identifikation solcher Schwierigkeiten wurden im Rahmen einer Studie im WS 2015/16 [3] drei Ansätze zur Analyse von Diagrammen, welche von Studierenden der Biologie und Biotechnologie im Rahmen eines Physikpraktikums im Selbststudium erstellt wurden, entwickelt. Das erste Analyseinstrument basiert auf einem Kategoriensystem, mit dem die formale Qualität von Diagrammen beurteilt werden kann. Beim zweiten Analysezugang wurden auf Basis dieses Kategoriensystems Erstellungsprozesse von Diagrammen untersucht. Zuletzt wurden anhand der verbalen Kommunikation der Studierenden während ihrer Arbeit an Diagrammen mit Fehlerbalken Rückschlüsse auf ihr Verständnis von Messunsicherheiten gezogen. In diesem Beitrag werden die drei Analyseansätze vorgestellt und erste Ergebnisse ihrer Anwendung diskutiert.

1. Einleitung

Physikalische Praktika an Hochschulen stellen in vielen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ein wichtiges Ausbildungselement dar. Diese Praktika sind für viele Studierende auch diejenige Lehrveranstaltung, in der sie zum ersten Mal ernsthaft mit der für die Naturwissenschaften essentiellen Thematik der Messunsicherheiten konfrontiert werden [4]. Dies gilt, obwohl die Bewertung von Daten inzwischen explizit in den schulischen Bildungsstandards verankert ist [5]. Trotzdem werden im Regelfall die Praktika an den Hochschulen die Aufgabe wahrnehmen müssen, dass die Studierenden dort den richtigen Umgang mit Messunsicherheiten erlernen [6]. Dies betrifft gleichermaßen die Interpretation von Messunsicherheiten, ihre rechnerische Ermittlung und ihre korrekte Darstellung. Letzteres umfasst die korrekte Angabe von Messunsicherheiten im numerischen Ergebnis eines Experiments und ihre Veranschaulichung in grafischen Darstellungen wie Diagrammen, deren Erstellung und Interpretation ebenfalls wichtige Inhalte physikalischer Praktika sind.

In der Realität stellt die Beschäftigung mit Messunsicherheiten bei den Studierenden oft eine sehr unbeliebte Tätigkeit dar [1], weshalb diese bei vielen Studierenden ausschließlich extrinsisch motiviert ist. Von Studierenden werden die Messunsicherheiten zwar als wichtiges Thema erachtet, jedoch empfinden sie dieses Thema als uninteressant [6].

Auch daher kommt es, dass es Studierende in physikalischen Praktika häufig nicht schaffen, die ange-

strebten Lernziele im Bereich Messunsicherheiten in ausreichendem Maße zu erreichen. Diesbezüglich zeichnen diverse Studien ein sehr ernüchterndes Bild. Demnach bleiben Misskonzepte häufig über das ganze Praktikum hinweg bestehen [7] und es gibt selten einen Aufbau eines grundlegenden Verständnisses zum Thema Messunsicherheiten [1]. Studierende lernen häufig bloße Rechenroutinen auswendig, welche sie nicht verstanden haben [2]. Zudem benutzen viele Studierende intensiv lediglich auswendig gelernte Faustregeln [8]. Dadurch sind Studierende mehrheitlich auch nach dem Absolvieren eines physikalischen Praktikums nicht in der Lage, Messunsicherheiten korrekt anzugeben [6].

Die großen Lernschwierigkeiten der Studierenden im Themengebiet der Messunsicherheiten sind teilweise auch durch die typische Praktikumslogistik bedingt, die nachfolgend am Beispiel der physikalischen Anfängerpraktika an der RWTH Aachen erläutert wird.

2. Physikalische Anfängerpraktika an der Universität

Auch an der RWTH Aachen müssen viele Studierende, die im Hauptfach ein natur- oder ingenieurwissenschaftliches Fach studieren, physikalische Praktika absolvieren, um experimentelle Kompetenzen zu erwerben. Dabei handelt es sich oft um physikalische Anfängerpraktika, bei welchen die Studierenden nach vorgegebenen Versuchsanleitungen eine feste Anzahl von verschiedenen Versuchen absolvieren.

Das wöchentliche Praktikum beginnt in der Regel mit einer Vorbesprechung, bei welcher die Studierenden im Gespräch mit dem Versuchsbetreuer zeigen müssen, dass sie sich ausreichend mit der Versuchsanleitung und den Inhalten des Versuchs auseinandergesetzt haben. Nach einer erfolgreichen Vorbesprechung folgt die Versuchsdurchführung. Hierbei wird der Versuch in Zweierteams selbstständig nach der Versuchsanleitung durchgeführt, wobei ein Betreuer je maximal acht Studierende bei Problemen unterstützen kann.

Nach erfolgreicher Durchführung des Versuchs müssen die Studierenden in ihren Zweierteams zu Hause und damit ohne direkte Betreuungshilfe einen Versuchsbericht verfassen, in welchem sie u.a. die Auswertung der Messwerte darstellen. Diese Auswertung enthält häufig graphische Darstellungen der Messergebnisse in Form von Diagrammen und sollte ebenfalls Aussagen zu den Messunsicherheiten umfassen.

Damit sind gerade der Auswertephase wichtige Aufgaben beim Zusammenführen der theoretischen Grundlagen des Versuchs mit den experimentellen Daten zuzuordnen. Gleichzeitig dient die Phase der Auswertung dem Erlernen geeigneter Darstellungen der experimentellen Ergebnisse sowie ihrer sinnhaften Interpretation. Alle genannten Aspekte sind als wichtige Ziele physikalischer Praktika anerkannt [9]. Dazu passt, dass die Phase häufig auch deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als die Präsenzphase im Praktikum [6]. Gleichzeitig fehlt aber aufgrund der Praktikumslogistik in dieser Auswertephase in der Regel auch die Unterstützung durch die Betreuer, was auf Seiten der Studierenden bei auftretenden Problemen zu einem großen Zeitaufwand oder zu lernunwirksamen Ausweichstrategien führen kann.

Die geschilderte Problematik kann durch effiziente Lernhilfen zur Unterstützung der Selbststudienphasen der Studierenden im Praktikumsablauf gelöst oder abgeschwächt werden. Studien unserer Arbeitsgruppe haben allerdings gezeigt, dass die Konzeption lernwirksamer Unterstützungsangebote ein tieferes Verständnis der für die Auswertephase typischen Prozessabläufe und Probleme erfordert [3]. Deshalb wurde eine Studie konzipiert, die eben diese Fragestellungen in den Blick nimmt.

3. Studie zu Erstellungsprozessen von Versuchsberichten in physikalischen Anfängerpraktika

Im WS 2015/16 wurde eine Studie zur Analyse der Erstellungsprozesse von Versuchsberichten im physikalischen Anfängerpraktikum für Studierende der Biologie und Biotechnologie an der RWTH Aachen durchgeführt [3]. Das Ziel dieser Studie bestand darin, die Arbeits- und Lernprozesse der Versuchsberichterstellung während der unbetreuten Arbeitsphase außerhalb der universitären Praktikumsräume möglichst vollständig zu erfassen. Dazu sollten die Studierenden sowohl während ihrer Versuche an der Universität als auch während der Erstellung ihrer

Versuchsberichte zu Hause eigenständig mit einem Smartpen und einem bereitgestellten Notebook mit Office-Paket und vorinstallierter Screen Recorder Software arbeiten.

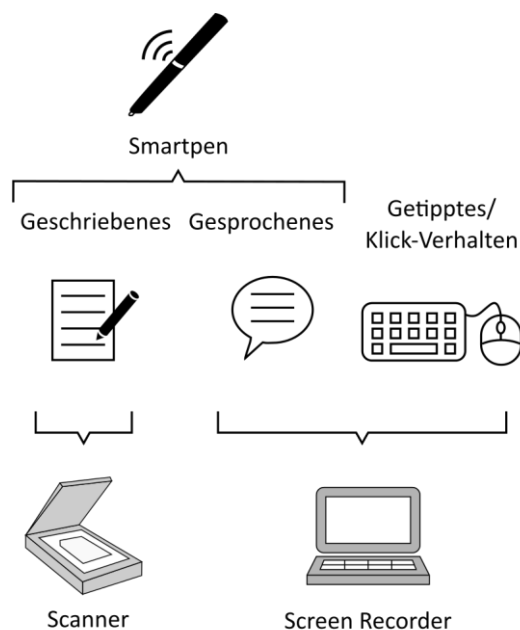


Abb.1: Erhobenes Datenmaterial der Studie zur Analyse der Erstellungsprozesse von Versuchsberichten im WS 2015/16.

In Abbildung 1 ist zu erkennen, dass mit Hilfe des Smartpens die verbale Kommunikation und das handschriftlich Geschriebene aufgezeichnet wurden, während mit Hilfe der Screen Recorder Software das Tipp- und Klick-Verhalten der Studierenden am Notebook sowie ebenfalls die verbale Kommunikation aufgenommen wurden. Zusätzlich wurden alle Produkte der Auswertephase digital erfasst. Dies geschah teils durch die Sicherung eingereicherter Files und teils durch das Scannen ausgedruckter Versuchsberichte.

Die Stichprobe der Studie bestand aus zwölf Studierenden der Biologie und Biotechnologie, die freiwillig an der Studie teilnahmen. Diese zwölf Studierenden waren auf sechs Teams aus jeweils zwei Studierenden verteilt und sollten jeweils bei drei aufeinanderfolgenden Versuchen während des physikalischen Praktikums an der RWTH Aachen die Versuchsdurchführung in der Universität und die Berichterstellung zu Hause mit Hilfe des Smartpens und der Screen Recorder Software möglichst vollständig dokumentieren, so dass ein umfassendes Bild vom vollständigen Versuchsablauf entstehen konnte. Insgesamt wurde in der Studie Datenmaterial von 18 Versuchen der sechs Studierendengruppen vollständig aufgezeichnet, welches zur Analyse zur Verfügung steht.

Die Kombination aller dieser Daten erlaubt somit detaillierte Einblicke in die studentischen Arbeits- und teilweise Denkprozesse, sowohl in der Universi-

tät als auch zu Hause. Dadurch ergibt sich ein grundlegender Einblick in den Entstehungsprozess der Berichte und die dabei von den Studierenden eingesetzten Vorgehensweisen.

Bei der Auswertung des Datenmaterials wurden aufgrund der großen Menge erhobener Daten zunächst Schwerpunkte gesetzt. Konkret wurde davon ausgegangen, dass wichtige und typische Vorgehensweisen bei der Auswertung von experimentellen Daten bei der Erstellung von Diagrammen besonders anschaulich werden. Zudem bieten Diagramme, die Fehlerbalken enthalten, einen deutlich sichtbaren Indikator dafür, dass die Studierenden sich mit dem Thema Messunsicherheiten auseinandergesetzt haben.

Aus diesem Grund sind neben dem Umgang mit Messunsicherheiten auch die Diagrammerstellung und die Bewertung der dabei von den Studierenden nachgewiesenen Kompetenzen in den Blickpunkt der Untersuchung gerückt. Hierzu finden sich bereits in einigen anderen Arbeiten erste Anhaltspunkte, wobei insbesondere Kategoriensysteme und Schemata zur Bewertung von erstellten Diagrammen vorgeschlagen wurden [10 - 12]. Aufbauend auf diesen Arbeiten wird nachfolgend ein ergänztes Bewertungsschema vorgestellt. Dieses Bewertungsschema liegt einem der drei im Abschnitt 4 vorgestellten Analyseansätze des erhobenen Datenmaterials zugrunde.

4. Drei Analyseansätze

Der Fokus bisheriger Studien der Lehr-Lern-Prozesse in physikalischen Praktika lag zumeist bei den Versuchsdurchführungen an Universitäten (siehe z.B. [12]). Somit wurde die lange und wichtige Arbeitsphase der Studierenden zu Hause bisher kaum erforscht. Dies ist jedoch gerade im Hinblick auf die zuvor beschriebenen Probleme Studierender mit der Bestimmung und der Interpretation von Messunsicherheiten wichtig, um Kenntnisse über die dabei auftretenden Schwierigkeiten zu gewinnen.

Um diese Kenntnisse zu erlangen wurden drei Analyseansätze entwickelt, um die Daten aus der zuvor beschriebenen Studie dahingehend auswerten zu können. Dabei bestand die Datengrundlage aus $N_0 = 55$ Diagrammen aus den Versuchsberichten, die im Rahmen der Studie von den Probanden erstellt wurden. Aus diesen Diagrammen wurden all jene Diagramme ausgewählt, in denen Fehlerbalken verdeutlicht haben, dass eine Auseinandersetzung der Studierenden mit Messunsicherheiten stattgefunden haben muss. Deshalb wurden $N_1 = 11$ Diagramme mit Fehlerbalken detaillierter untersucht.

Die drei Analyseansätze sind:

- i. Analyse der Ausführungsqualität
- ii. Analyse der Diagrammerstellungsprozesse
- iii. Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken

4.1. Analyse der Ausführungsqualität

Zur Untersuchung der Ausführungsqualität der $N_1 = 11$ Diagramme aus den Versuchsberichten wurde ein Kategoriensystem entwickelt, das eine Bepunktung und damit auch einen Vergleich der erstellten Diagramme erlaubt. Dabei wird unter Ausführungsqualität die Qualität der erstellten Diagramme auf formaler Ebene verstanden. Dieses Kategoriensystem wurde in Anlehnung an Lachmayer [11], Effertz [10] und Nixon et al. [12] erstellt. Dazu wurden die drei genannten Modelle zur Diagrammkonstruktion miteinander verglichen, um darauf aufbauend ein Modell für die Untersuchung der Ausführungsqualität zu entwickeln. Das entwickelte Kategoriensystem ist in Tabelle 1 zu sehen.

Basiskategorien	x-Achse	Physikalische Größe
		Einheit für physikalische Größe
		Achsenskalierung
		Zahlen an Achsenskalierung
	y-Achse	Physikalische Größe
		Einheit für physikalische Größe
		Achsenskalierung
		Zahlen an Achsenskalierung
Zusatzkategorien	Datenpunkte	
	Fehlerbalken	
	Legende	
	Ausgleichsgerade	
	Gleichung für Ausgleichsgerade	
	Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung	
	Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung	
	Gleichung für Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung	
	Gleichung für Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung	

Tabelle 1: Kategoriensystem für die Bewertung der Diagramme mit Fehlerbalken.

Im Kategoriensystem wird bei den Bewertungen der Achsen zwischen der x-Achse und der y-Achse unterschieden. Zu diesen beiden Achsen gibt es jeweils die vier Unterkategorien „Physikalische Größe“, „Einheit für physikalische Größe“, „Achsenskalierung“ und „Zahlen an Achsenskalierung“. Die Bewertung dieser Merkmale bildet ebenso wie die Bewertung des Einzeichnens von Datenpunkten eine Bewertung von Basiskategorien. Diese Basiskategorien sollten in jedem erstellten Diagramm vorhanden sein, da ein Diagramm ohne diese Basiskategorien keine sinnvolle Aussage trifft. Zusätzlich gehört die Bewertung der Fehlerbalken in der vorliegenden Studie zu den Basiskategorien, da diese einen Schwerpunkt in der Studie und deshalb auch

ein Auswahlkriterium für die analysierten Diagramme bilden.

Darüber hinaus wurden Zusatzkategorien eingeführt. Dazu gehören für die hier vorgenommenen Auswertungen das Einzeichnen von Ausgleichsgeraden sowie von Ausgleichsgeraden mit minimaler und maximaler Steigung ebenso wie die Angabe der zur jeweiligen Geraden gehörenden Gleichung. Darüber hinaus sollte bei Diagrammen mit mehreren Datenreihen eine Legende vorhanden sein. Diese beschriebenen Kategorien werden Zusatzkategorien genannt, da sie nicht in jedem Diagramm auftreten müssen. So ist es beispielsweise bei einem exponentiellen Zusammenhang und linearer Achsenskalierung physikalisch nicht sinnvoll eine Ausgleichsgerade durch die Datenpunkte zu legen. Des Weiteren ist bei einem Diagramm, in welchem nur eine Datenreihe abgebildet ist, keine Legende vonnöten.

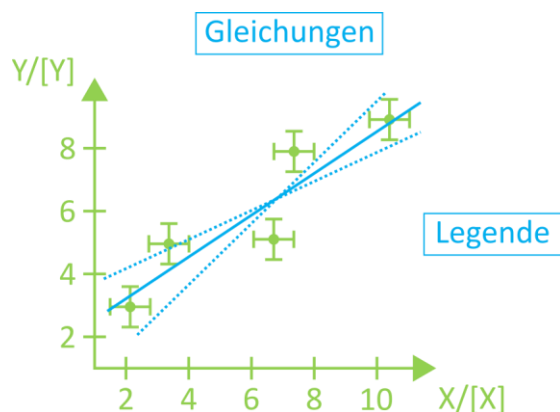


Abb.2: Zuordnung verschiedener Elemente eines Diagramms zu den Basis- (grün) und Zusatzkategorien (blau) des entwickelten Kategoriensystems.

Die im obigen Kategoriensystem aufgeführten Kategorien sind in Abbildung 2 noch einmal verdeutlicht, wobei die Basiskategorien in grün und die Zusatzkategorien in blau dargestellt sind.

Um die formale Qualität der Diagramme mit Punkten bewerten zu können, werden die Diagramme einem zweistufigen Bewertungsprozess unterzogen. Dabei wird im ersten Schritt das Vorhandensein der Merkmale der verschiedenen Kategorien und im zweiten Schritt die physikalische Korrektheit ihrer Ausführung überprüft.

Bei der Bewertung der Kategorien kann im ersten Bewertungsschritt 1 Punkt vergeben werden, wenn die Kategorie vorhanden ist. Andernfalls wird diese Kategorie mit 0 Punkten bewertet. Im zweiten Bewertungsschritt kann bei vorhandenen Kategorien 1 weiterer Punkt vergeben werden, wenn die Kategorie korrekt beziehungsweise sinnvoll ist. Andernfalls wird die Kategorie mit 0 Punkten bewertet. Somit kann eine Kategorie im Allgemeinen in der Summe 0, 1 oder 2 Punkte erreichen. Davon abweichend wurde in der Kategorie „Fehlerbalken“ maximal 1 Punkt für die physikalische Korrektheit vergeben, da

alle für die detaillierten Analysen ausgewählten Diagramme gerade durch das Vorhandensein von Fehlerbalken gekennzeichnet sind.

Des Weiteren ist zu beachten, dass einige der vorliegenden Diagramme aufgrund nicht digital abgegebener Versuchsberichte eingescannt wurden. Falls somit aufgrund einer zu geringen Scanqualität Komponenten des Diagramms, zum Beispiel die Achsenskalierung, nur schwer sichtbar sind, wird vor einem Rating das zugehörige Excelfile, welches ebenfalls bei allen Teams von den Leih-Notebooks gesichert wurde, überprüft.

Somit kann jedem Diagramm mit Hilfe dieses Kategoriensystems eine Bewertung in Form einer Punktzahl zugeordnet werden.

4.2. Analyse der Diagrammerstellungsprozesse

Zur Untersuchung der Diagrammerstellungsprozesse wurden die Screen Recorder-Dateien hinzugezogen, um das Tipp- und Klick-Verhalten der Studierenden bei der Diagrammerstellung zu untersuchen. Hierbei wurde je ein Erstellungsprozess eines Diagramms pro Praktikumsversuch detailliert analysiert, wodurch sich eine Stichprobe von $N_2 = 9$ Diagrammen ergab.

Die Phasen der Diagrammerstellung wurden im weiteren Verlauf an die Kategorien des Kategoriensystems in Tabelle 1 angelehnt. Dabei wird die Kategorie „Fehlerbalken“ noch einmal in die drei Kategorien „Fehler ermitteln“, „Fehlerbalken einzeichnen“ und „Fehlerbalken zur weiteren Auswertung nutzen“ unterteilt.

Bei der Diagrammkonstruktion mit Excel ist es möglich, dass die Software mehrere verschiedene Diagrammelemente zum gleichen Zeitpunkt erstellt. Für die Analyse hat dies zur Folge, dass zu einem Zeitpunkt mehrere Kategorien gleichzeitig zugeordnet werden können. Beispielsweise wählt Excel bei der Erstellung eines Diagramms automatisch eine zu den Datenpunkten passende Achsenskalierung, womit bei der Ersterstellung eines Diagramms für dieses Diagrammelement kein gesonderter Arbeitsschritt notwendig ist.

Aus der abgeleiteten Abfolge der Behandlung der verschiedenen Kategorien des Kategoriensystems für die Diagrammerstellung wurden Prozessdiagramme erstellt, in denen die zeitliche Abfolge der durchgeführten Arbeitsschritte während einer Diagrammerstellung dargestellt ist. Ein solches Prozessdiagramm ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

In Abbildung 3 kann man erkennen, dass im ersten Arbeitsschritt zunächst die Größen der Fehlerbalken ermittelt wurden, um anschließend das Diagramm zu erstellen, wobei Excel die Achsenskalierung automatisch durchgeführt hat. Diesem Diagramm wurden in den Schritten drei und vier zwei weitere Datenreihen hinzugefügt, wobei sich die Achsenskalierung nicht verändert hat. Im fünften Schritt wurde

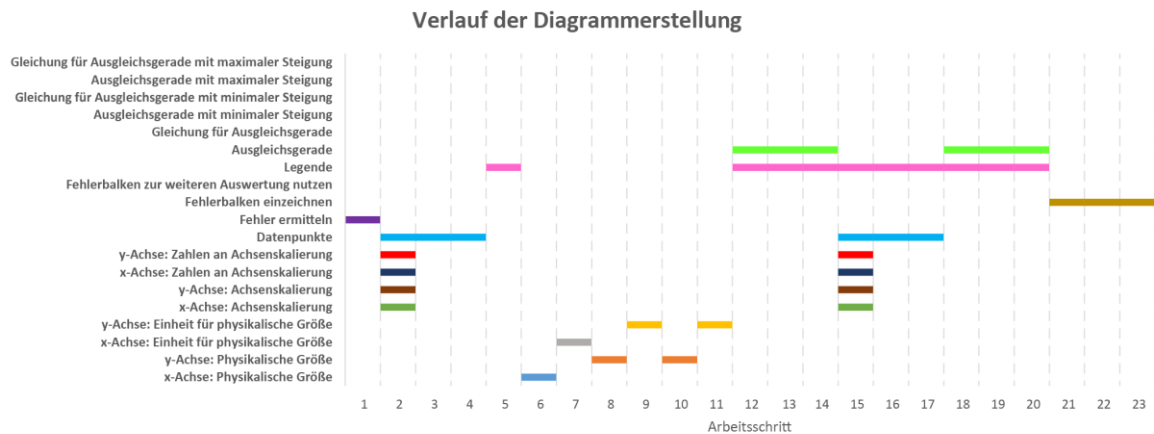


Abb.3: Beispiel eines Prozessdiagramms zur Analyse des Verlaufs einer Diagrammerstellung.

eine Legende erstellt und in den Schritten sechs bis elf wurden den Achsen physikalische Größen mit Einheiten zugeordnet, wobei die physikalische Größe der y-Achse sowie ihre Einheit einmal korrigiert wurden. Im Anschluss wurde durch alle drei Datenreihen jeweils eine Ausgleichsgerade gelegt, wobei durch Excel automatisch Legendeneinträge für diese erstellt wurden. Jedoch hatten die Studierenden die x- und die y-Werte vertauscht, so dass die Datenreihen in den Schritten 15, 16 und 17 gelöscht und neu hinzugefügt wurden, wodurch Excel die Legende in jedem Schritt automatisch angepasst hat. Durch die Punkte dieser neuen Datenreihen wurde in den Schritten 18, 19 und 20 erneut jeweils eine Ausgleichsgerade gelegt, welche von Excel automatisch in die Legende aufgenommen wurde. Zuletzt wurden in den Schritten 21, 22 und 23 diverse Fehlerbalken zu den Punkten aller drei Datenreihen hinzugefügt.

Anhand dieses Prozessdiagramms ist zudem zu erkennen, dass die Studierenden, die dieses Diagramm erstellt haben, weder eine Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung noch eine Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung in das Diagramm eingezeichnet haben, weshalb auch keine zugehörigen Gleichungen zu finden sind. Somit haben sie die Fehlerbalken nicht zur weiteren Auswertung genutzt. Zudem wurden keine Gleichungen der Ausgleichsgeraden im Diagramm angegeben.

Der Vergleich der für die verschiedenen Versuche erstellten Prozessdiagramme zum Ablauf der Diagrammerstellung ermöglicht es, typische Abfolgen ebenso wie häufige Auslassungen von Einzelschritten des Prozesses oder besondere Probleme bei der Ausführung einzelner Schritte zu identifizieren.

4.3. Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken

Zur Untersuchung, wie Studierende sich während der Diagrammerstellung mit Fehlerbalken auseinandersetzen, wurden erneut die Screen Recorder-Dateien der $N_2 = 9$ Diagramme aus der Stichprobe aus Abschnitt 4.2. hinzugezogen. Dabei wurde zusätzlich zum Tipp- und Klick-Verhalten auch die

verbale Kommunikation der Probanden bei der Erstellung der Diagramme analysiert, indem mit Hilfe der Software Videograph zu jedem der $N_2 = 9$ Diagramme für die Phase der Diagrammerstellung ein Transkript erstellt wurde.

Zur Erstellung der Transkripte wurde in Intervallen von 20 Sekunden die gesamte verbale Kommunikation transkribiert, die zwischen dem Beginn der Arbeit an einer Excel-Datei und dem Beenden der Arbeit an dem in der Excel-Datei erstellten Diagramm zwischen den Probanden des Zweiertteams stattgefunden hat. Nicht transkribiert wurden private Gespräche und Gespräche, die keinen direkten Bezug zur graphischen Auswertung besitzen sowie Internetrecherchen und Diktate von Zahlenwerten und Formeln. Hierbei lehnen sich die befolgten Transkriptionsregeln an die Regeln zur Transkription von Seidel an [13]. Die erstellten Transkripte sollten Rückschlüsse auf das Verständnis der Studierenden von Messunsicherheiten erlauben.

Im Folgenden werden sechs beispielhafte Auszüge aus Transkripten aufgeführt, wobei sich der vorangestellte Code aus einem T als Abkürzung für den Begriff Team mit der darauffolgenden eindeutigen Teamnummer sowie einer einstelligen Zahl nach dem Buchstaben S als Abkürzung für den Begriff Studierender (des jeweiligen Teams) zusammensetzt:

- T1S2: „Oder ne warte der Fehler war erinnerst du dich auch richtig Standardabweichung durch ähm Messunsicherheit Standardabweichung durch Wurzel n ne?“
- T2S2: „Ja unser Fehler ist schon groß genug der überdeckt das wir hätten ja genauso gut sagen können wir haben nen Fehler von 40 counts das ist ja in unserm Ermessen.“
- T3S1: „Die Messunsicherheiten hierfür ist die Gleichung mit der Fehlerfortpflanzung ne?“
- T3S2: „Ja die minimale Steigung ist ja wenn du vom beim ersten vom größten Fehler zum kleinsten Fehler beim zweiten versuchst.“

T5S1: „Ja das sieht gut aus das ist jetzt auch gar nicht so riesig wie // wir dachten.“

T6S2: „Immer irgend n bestimmtes Prozentfehler ist auf I und U das kann man ja bestimmt irgendwie bei Excel auch wieder machen.“

An diesen Beispielen ist bereits zu erkennen, dass die Studierenden zum einen konzeptionelle Probleme bei der richtigen Bestimmung der Größe der Fehlerbalken haben und zum anderen auch Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung der Darstellung von Fehlerbalken in Excel auftreten.

5. Ergebnisse

Mit Hilfe der drei vorgestellten Analyseansätze konnten die Daten der Studie ausgewertet und erste Ergebnisse ermittelt werden.

Nach Anwendung des ersten Analyseansatzes auf Basis des vorgeschlagenen Kategoriensystems kann gefolgert werden, dass alle von den Studierenden angefertigten Diagramme hohe Punktzahlen in den Basiskategorien aufweisen. So wurden bei einer Maximalpunktzahl von 19 Punkten zwei Diagramme mit 16 Punkten und je drei Diagramme mit 17, 18 bzw. 19 Punkten bewertet. Somit sind alle Diagramme bei den Basiskategorien von hoher Qualität. Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmer der Studie Grundfertigkeiten bei der Erstellung von Diagrammen mit Excel gut beherrschen, da sie beispielsweise über die Notwendigkeit der Achsenbeschriftung mit physikalischen Größen und deren Einheiten Bescheid wissen und dies im Wesentlichen auch umsetzen. Häufiger beobachtete Defizite betreffen zum Beispiel das richtige Einzeichnen von Fehlerbalken.

Auch bei den Zusatzkategorien weisen 7 der 9 Diagramme hohe Punktzahlen in Bezug auf die maximal möglichen Punktzahlen auf, da die Teilnehmer der Studie beispielsweise über die Notwendigkeit von Ausgleichsgeraden bei linearen Zusammenhängen Bescheid wissen und dies im Wesentlichen auch umsetzen. Typische Defizite sind dabei das richtige Angeben der Gleichung der Ausgleichsgeraden, da die zugehörigen Einheiten in allen entsprechenden Diagrammen nicht vorhanden waren. Bei den beiden Diagrammen mit niedrigerer Bewertung in den Zusatzkategorien bestehen große Defizite beim Einzeichnen von Geraden mit minimaler und maximaler Steigung und beim Angeben der zugehörigen Gleichungen. Dabei handelt es sich um das im Praktikum für diverse Studiengänge empfohlene Verfahren, um auf relativ intuitivem Wege eine Abschätzung der Unsicherheit der aus einer linearen Regression resultierenden Daten vorzunehmen.

Aus den Prozessdiagrammen ist zu erkennen, dass alle Diagramme im Detail einen unterschiedlichen Erstellungsprozess aufweisen, denn kein Erstellungsprozess gleicht einem anderen Erstellungsprozess. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Diagramme, selbst wenn die Größen der Fehlerbalken

vor dem Beginn der Erstellung des Diagramms ermittelt wurden, in praktisch allen Fällen in einem iterativen Prozess entstehen, bei dem zum Beispiel die Datenpunkte mindestens einmal erneuert werden. Für ein Team wurden für zwei erstellte Diagramme deutlich unterschiedliche Verläufe der Diagrammerstellung beobachtet, wobei der Verlauf beim zweiten Diagramm mit 11 Schritten wesentlich kürzer war als der beim ersten erstellten Diagramm (23 Schritte).

Aus der Analyse der Diagrammerstellungsprozesse ließen sich zwei verschiedene Einstiege in den Erstellungsprozess eines Diagramms beobachten. Dies war einerseits der Beginn mit dem Einzeichnen von Datenpunkten und zum anderen der Start mit dem Berechnen der Größe der Fehlerbalken. Ersteres hat den Vorteil, dass die Studierenden ein nahezu fertiges Diagramm vor sich haben, wenn sie die Größe der Fehlerbalken bestimmen. So können sie anhand des Diagramms schnell überblicken, ob ihre errechneten Größen der Fehlerbalken plausibel erscheinen, wenn sie diese Fehlerbalken in das Diagramm eintragen. Das Berechnen der Größe der Fehlerbalken im ersten Schritt der Erstellung eines Diagramms hat hingegen den Vorteil, dass das Diagramm im Anschluss ohne weitere Unterbrechungen erstellt werden kann, da während der Diagrammerstellung keine Pause zur Berechnung eingelegt werden muss.

Es sei hier betont, dass die Tatsache, ob ein Erstellungsprozess eines Diagramms ohne oder mit zwischenzeitlichen Korrekturen erfolgt, keine Rückschlüsse auf die formale Qualität der erstellten Diagramme erlaubt. So gibt es Diagramme, welche die volle Punktzahl bei den Basiskategorien erreicht haben, obwohl im Verlauf ihrer Erstellung die Datenreihen noch einmal verändert wurden.

Auch in der hier beschriebenen Studie zeigten die Studierenden konzeptuelle Schwierigkeiten beim Thema Messunsicherheiten. Dies offenbarte sich z.B. darin, dass die Studierenden nicht verstanden, wie unter Berücksichtigung der Fehlerbalken mit den Geraden mit minimaler und maximaler Steigung die Unsicherheit auf Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden bestimmt werden kann. Stattdessen wurde zur Bestimmung der Unsicherheiten auf Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden die lineare Regression in Excel verwendet. Dabei ist den Transkripten zu entnehmen, dass die Studierenden in einem Vortrag an der Universität wohl gezeigt bekommen haben, wie eine lineare Regression in Excel durchzuführen ist. Jedoch wurde nicht verstanden, wann die lineare Regression sinnvoll einzusetzen ist und was die von Excel ausgegebenen Werte aussagen.

Aus der Analyse der Transkripte ergibt sich, dass zwei Typen von Schwierigkeiten beim Umgang mit Fehlerbalken auftreten. Zum einen haben die Studierenden konzeptionelle Probleme bei der Ermittlung

der Größe der Fehlerbalken. Dies zeigt sich beispielsweise deutlich in einer sehr schematischen Anwendung von vorgegebenen Formeln zur Bestimmung von Messunsicherheiten. Jedoch wissen sie offenbar nicht, wann und warum welche Formel anzuwenden ist und wie das Ergebnis dieser Formel interpretiert werden kann. Es werden also auch von den an dieser Studie teilnehmenden Studierenden schematisch Rechenroutinen und Faustregeln verwendet, ohne dass die Studierenden ein grundlegendes Verständnis zum Thema Messunsicherheiten aufbauen. Dabei bleiben auch hier die Misskonzepte über den Studienzeitraum hinweg bestehen. Zudem sind die Studierenden nicht in der Lage, Messunsicherheiten korrekt anzugeben. Zum anderen haben die Studierenden Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung der Darstellung von Fehlerbalken in Excel.

Zuletzt zeigte sich anhand des dritten Analyseansatzes, der Transkription, dass einige Studierende mathematische Schwächen hatten, da sie beispielsweise einen Logarithmus oder eine etwas kompliziertere Formel nicht nach einer Variablen ableiten konnten. So kam es zu Problemen bei der Bestimmung der Unsicherheiten, da hierfür bei Anwendung der Gaußschen Fehlerfortpflanzung oft das Ableiten von Funktionen notwendig ist.

6. Fazit und Ausblick

Abschließend lässt sich konstatieren, dass man durch die drei vorgestellten Analyseansätze (i) der Analyse der Ausführungsqualität von Diagrammen auf der Basis eines Kategoriensystems, (ii) der Analyse der Diagrammerstellungsprozesse und (iii) der Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken einen umfassenden Eindruck davon bekommt, wie die Studierenden im Umfeld der Erstellung von Diagrammen zu Hause mit dem Thema Messunsicherheiten umgehen.

Die Bewertung der formalen Qualität der erstellten Diagramme erlaubt es, die einzelnen Diagramme miteinander zu vergleichen. Zudem kann mit Hilfe der Prozessdiagramme festgestellt werden, welchen Verlauf der Diagrammerstellung die einzelnen Studierenden für ihr Diagramm nutzen. Zuletzt können mit Hilfe der Transkripte konkrete Schwierigkeiten der Studierenden beim Umgang mit dem Thema Messunsicherheiten identifiziert und genauer analysiert werden. Somit bieten diese drei Analyseansätze gute Möglichkeiten zur Aufklärung typischer Prozesse und häufig auftretender Schwierigkeiten in der Auswertephase von Versuchen in physikalischen Praktika.

Die vorgestellten Analyseansätze stellen einen ersten Annäherungsversuch an den riesigen Informationsgehalt des umfangreichen Datenmaterials dar, der in der Zusammenfassung als erfolgreich bewertet werden kann und gleichzeitig weitere Untersuchungen nach sich zieht.

7. Literatur

- [1] Heinicke, Susanne (2012): *Aus Fehlern wird man klug*. Berlin: Logos
- [2] Buffler, Andy; Allie, Saalih; Lubben, Fred (2001): The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. In: *International Journal of Science Education*, 23, 11, 1137-1156
- [3] Hamacher, John; Heinke, Heidrun (2016): Analyse studentischer Lernprozesse zu Messunsicherheiten im Physikpraktikum. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*
- [4] Hamacher, John; Erkelenz, Jan; Heinke, Heidrun (2015): Lehrvideos zum Umgang mit Messdaten. In: *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin*, 527-529
- [5] Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2004): *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand
- [6] Hamacher, John; Erkelenz, Jan; Heinke, Heidrun (2015): Messunsicherheiten mit Hilfe von Lernvideos verstehen – Entwicklung von Lehrvideos zum Umgang mit Messdaten für Physikpraktika. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*
- [7] Séré, Marie-Geneviève; Journeaux, Roger; Larcher, Claudine (1993): Learning the statistical analysis of measurement errors. In: *International Journal of Science Education*, 15, 4, 427-438
- [8] Allie, Saalih; Buffler, Andy; Campbell, Bob; Lubben, Fred; Evangelinos, Dimitris; Psillos, Dimitris; Valassiades, Odysseas (2003): Teaching Measurement in the Introductory Physics Laboratory. In: *The Physics Teacher*. 41, 23-20
- [9] Welzel, Manuela; Haller, Kerstin; Bandiera, Milena; Hammelev, Dorte; Koumaras, Panagiotis; Niedderer, Hans; Paulsen, Albert; Robinault, Karine; von Aufschnaiter, Stefan (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4, 1, 29-44
- [10] Effertz, Christian. *Arbeitsgruppeninternes Dokument*
- [11] Lachmayer, Simone (2008): *Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht*. Dissertation: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- [12] Nixon, Ryan S.; Godfrey, T. J.; Mayhew, Nicholas T.; Wiegert, Craig C. (2016): Undergraduate student construction and interpretation of graphs in physic lab activities. In: *Physical review physics education research*, 12, 1, 010104

- [13] Seidel, Tina; Prenzel, Manfred; Duit, Reinders; Lehrke, Manfred (2004): Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht". Kiel: IPN